

1
JAP20 Rec'd PCT/PTO 29 JUN 2006

Licht emittierende Halbleitervorrichtungen mit veränderbarer
Emissionswellenlänge

5 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Licht emittierende Halbleitervorrichtungen mit veränderbarer Emissionswellenlänge sowie ein Verfahren zum Erzeugen von farbigem Licht mit einer derartigen Halbleitervorrichtung.

10 Licht emittierende Halbleitervorrichtungen stellen heutzutage Schlüsselkomponenten u.a. in Vorrichtungen zum Übertragen Information, in Speicher- vorrichtungen, in Anzeigevorrichtungen und in Beleuchtungsvorrichtungen dar. Im sichtbaren Spektralbereich leuchtende Halbleitervorrichtungen stellen jedoch keine hohen Leuchttintensitäten zur Verfügung. So konnten die ersten 15 Leuchtdioden (LEDs) gerade genug Intensität zur Verfügung stellen, um als Anzeigeelemente in frühen Taschenrechnern und digitalen Uhren zum Einsatz zu kommen.

20 Viele Licht emittierende Halbleitervorrichtungen nach Stand der Technik, insbesondere LEDs, basieren auf Gallium-Phosphid (GaP). Dieses Material weist allerdings nur eine geringe Effizienz bei der Lichterzeugung auf. Gegenwärtig besteht jedoch ein Trend, Licht im sichtbaren Spektralbereich emittierende Halbleitervorrichtungen, wie bspw. LEDs, auch in Bereichen einzusetzen, in denen eine hohe Lichtintensität gefordert wird. So versuchen Automobilhersteller, immer mehr herkömmliche Leuchtkörper im Auto durch 25 LEDs zu ersetzen. Als ein weiteres Einsatzgebiet für Halbleitervorrichtungen, welche im sichtbaren Spektralbereich mit hoher Lichtintensität emittieren, bieten sich bspw. Ampeln an, in denen hoch intensiv leuchtende rote, grüne

und gelbe Emitter gefragt sind. Aber nicht nur in der Verkehrs- und Fahrzeugtechnik, sondern auch in der Informationsübertragung sind Halbleitervorrichtungen, die im sichtbaren Spektralbereich eine hohe Lichtintensität zur Verfügung stellen, nutzbringend einzusetzen.

5

- Zudem wäre es bei vielen Anwendungen wünschenswert, wenn die Wellenlänge und damit die Farbe des von der Halbleitervorrichtung abgegebenen Lichtes einzustellen wäre. Mit einer Halbleitervorrichtung, bspw. einer LED, bei der die Farbe des abgegebenen Lichtes einzustellen wäre, 10 könnte z.B. die Anzahl der notwendigen Halbleitervorrichtungen bzw. LEDs in Anzeigevorrichtungen verringert werden, da nicht mehr für jede Farbe eine eigene Halbleitervorrichtung bzw. LED nötig wäre.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Licht 15 emittierende Halbleitervorrichtung zur Verfügung zu stellen, die nicht nur eine hohe Leuchtintensität zur Verfügung stellt, sondern bei der sich auch die Emissionswellenlänge des abgegebenen Lichtes verändern lässt.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine verbesserte 20 Anzeigevorrichtung zur Verfügung zu stellen.

Schließlich ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Einstellen des von einer erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung abgegebenen Lichtes zur Verfügung zu stellen.

25

Die erste Aufgabe wird durch eine Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, die zweite Aufgabe durch eine Anzeigevorrichtung nach Anspruch 12 und die dritte Aufgabe durch ein Verfahren nach Anspruch 15 gelöst. Die abhängigen Ansprüche enthalten vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

30

Zum besseren Verständnis der Erfindung werden nachfolgend einige Eigenschaften und Merkmale von Halbleitermaterialien beschrieben, bevor mit dem Erläutern der Erfindung begonnen wird.

- Das elektrische Verhalten eines Halbleitermaterials lässt sich mit dem sog. Bändermodell beschreiben. Dieses besagt, dass den Ladungsträgern des Halbleitermaterials verschiedene Energiebereiche, die sog. Energiebänder, zur Verfügung stehen, innerhalb derer sie im Wesentlichen beliebige Energiewerte annehmen können. Verschiedene Bänder sind häufig durch eine Bandlücke, d.h. einen Energiebereich mit Energiewerten, welche die Ladungsträger nicht annehmen können, voneinander getrennt. Wenn ein Ladungsträger von einem energetisch höher gelegenen Energieband in ein energetisch niedriger gelegenes Energieband überwechselt, wird eine Energie freigesetzt, die der Differenz aus den Energiewerten des Ladungsträgers vor und nach dem Wechsel, der auch als „Übergang“ bezeichnet wird, entspricht. Die Differenzenergie kann dabei in Form von Lichtquanten (Photonen) freigesetzt werden.
- Man unterscheidet zwischen sog. direkten und indirekten Bandlücken. Bei einer indirekten Bandlücke müssen zwei Prozesse zusammentreffen, damit ein Übergang zwischen den Energiebändern unter Emission von Licht stattfinden kann. Daher weisen Halbleitermaterialien mit indirekten Bandlücken, wie etwa GaP, in der Regel eine viel geringere Effizienz beim Erzeugen von Licht auf, als Halbleitermaterialien mit sog. direkten Bandlücken, in denen zum Aussenden von Licht nur ein Prozess nötig ist.

Als Ladungsträger stehen in einem Halbleitermaterial negativ geladene Elektronen und positiv geladene Löcher, die man sich im Wesentlichen als „fehlende“ Elektronen in einem Energieband vorstellen kann, zur Verfügung. Ein Loch kann durch den Übergang eines Elektrons aus einem anderen Energieband in das Energieband, in dem das Loch vorliegt, aufgefüllt werden. Den Vorgang des Auffüllens nennt man Rekombination. Durch Einbringen von Fremdstoffen, sog. Dotierstoffen, in das Halbleitermaterial lässt sich ein Übergewicht an Elektronen oder Löchern als Ladungsträger erzeugen. Bei einem Übergewicht an Elektronen bezeichnet man das Halbleitermaterial als n-leitend bzw. n-dotiert, bei einem Übergewicht an Löchern als Ladungsträger als p-leitend bzw. p-dotiert. Das Einbringen von Dotierstoffen kann darüber hinaus benutzt werden, die den Ladungsträgern

zugänglichen bzw. zur Verfügung stehenden Energieniveaus im Halbleitermaterial zu beeinflussen.

- Eine erfindungsgemäße Halbleitervorrichtung zum Emittieren von Licht bei
- 5 Anlegen einer Spannung umfasst
- einen ersten Halbleiterbereich, dessen Leitfähigkeit auf Ladungsträgern eines ersten Leitfähigkeitstyps, also bspw. Elektronen, beruht,
 - einen zweiten Halbleiterbereich, dessen Leitfähigkeit auf Ladungsträgern eines zweiten Leitfähigkeitstyps, welche eine den Ladungsträgern des ersten Leitfähigkeitstyps entgegengesetzte Ladung besitzen, also bspw. 10 Löchern, beruht, und
 - einen zwischen dem ersten Halbleiterbereich und dem zweiten Halbleiterbereich angeordneten aktiven Halbleiterbereich, in dem die Lichtemission stattfindet und in den Quantenstrukturen eines Halbleitermaterials mit direkter Bandlücke in mindestens zwei unterschiedlichen, 15 miteinander gekoppelten Konfigurationen eingebettet sind.
- Außerdem ist der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung eine Schalteinrichtung zum direkten oder indirekten Beeinflussen des durch den aktiven Halbleiterbereich fließenden Stromes zugeordnet, die derart ausgestaltet ist,
- 20 dass zumindest zwischen einem Stromfluss durch den aktiven Halbleiterbereich mit einer Stromstärke unterhalb einer bestimmten Schwellenstromstärke und einem Stromfluss durch den aktiven Halbleiterbereich mit einer Stromstärke oberhalb der Schwellenstromstärke hin und her zu schalten ist.
- 25 Unter den Quantenstrukturen der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung sind Strukturen zu verstehen, die in mindestens einer Ausdehnungsrichtung eine Abmessung aufweisen, die derart gering ist, dass die Eigenschaften der Struktur von quantenmechanischen Vorgängen mitbestimmt werden. Als
- 30 Konfigurationen der Quantenstrukturen kommen Quantenpunkte (engl. Quantum Dots), welche quasi-nulldimensionale Strukturen darstellen, Quantendrähte (engl. Quantum Wires), welche quasi-eindimensionale Strukturen darstellen, und Quantentopfschichten (engl. Quantum Wells), welche quasi-zweidimensionale Strukturen darstellen, in Frage.

- Eine Halbleitervorrichtung mit einer erfindungsgemäßen Struktur kann in zwei verschiedenen Wellenlängen emittieren. Welche Wellenlänge emittiert wird, lässt sich dabei mittels der Stromstärke des durch den aktiven Bereich
- 5 der Halbleitervorrichtung fließenden Stromes beeinflussen. Wenn die Stromstärke eine bestimmte Schwellenstromstärke überschreitet, erfolgt eine Emission von Licht mit der ersten Wellenlänge, also bspw. von grünem Licht, wenn sie die Schwellenstromstärke dagegen unterschreitet, erfolgt eine Emission von Licht mit der zweiten Wellenlänge, also bspw. von rotem Licht.
- 10 Mit Hilfe der zugeordneten Schalteinrichtung kann daher zwischen der Emission von Licht der ersten Wellenlänge und der Emission von Licht der zweiten Wellenlänge hin und her geschaltet werden.

Zudem weist die erfindungsgemäße Halbleiterstruktur zum Emittieren von

15 Licht eine höhere Effizienz beim Emittieren im sichtbaren Spektralbereich auf, als Licht emittierende Halbleiterstrukturen nach Stand der Technik. Der Grund hierfür ist folgender:

Die erfindungsgemäße Halbleitervorrichtung ermöglicht es im Unterschied zu

20 den auf GaP basierenden Licht emittierenden Halbleitervorrichtungen nach Stand der Technik, einen direkten Übergang zwischen zwei Energieniveaus zum Emittieren von Licht im sichtbaren Spektralbereich zu nutzen. Der direkte Übergang erfolgt dabei in den eingebetteten Quantenstrukturen, deren Material derart gewählt ist, dass es eine direkte Bandlücke aufweist.

25 Wie oben erwähnt, ist die Effizienz beim Emittieren von Licht bei einem direkten Übergang höher als bei einem indirekten Übergang, so dass die Effizienz der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung zum Emittieren von Licht bei Anlegen einer Spannung über der von Licht emittierenden Halbleitervorrichtungen nach Stand der Technik liegt. Die Quantenstrukturen

30 ermöglichen es dabei, die Größe der für die Lichtheission genutzten Bandlücke derart zu beeinflussen, dass die Emission im sichtbaren Spektralbereich stattfindet.

- In einer vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung sind Quantenpunkte als erste Konfiguration der Quantenstrukturen und eine Quantentopfschicht als zweite Konfiguration der Quantenstrukturen gewählt. Eine derartige Struktur lässt sich mit geeigneten
- 5 Materialien unter Ausnutzung des sog. Stranski-Krastanov-Wachstums herstellen. Beim Stranski-Krastanov-Wachstum bildet sich zu Beginn des Wachstums zuerst eine ebene Materialschicht aus, die als eine Quantentopfstruktur angesehen werden kann, wenn die Wachstumsbedingungen derart gewählt sind, dass die ebene Materialschicht eine Dicke von wenigen
- 10 Nanometern (nm) nicht überschreitet, wobei die Dicke vorzugsweise im Bereich von ca. 0,1 bis ca. 0,3 nm liegt. Ab einer bestimmten, vom Material, der Unterlage und den Umgebungsbedingungen beim Wachstum abhängigen Materialmenge schlägt das Wachstum dann in Inselwachstum um, d.h. auf der ebenen Schicht bildet das neu hinzukommende Material Hügel
- 15 (im Folgenden Inseln genannt) aus, welche als Quantenpunkte angesehen werden können, wenn die Wachstumsbedingungen derart gewählt sind, dass die lateralen Ausdehnungen der Inseln im Durchschnitt nicht mehr als ca. 50 nm betragen und vorzugsweise im Bereich von ca. 10 bis ca. 30 nm liegen.
- 20 Das Stranski-Krastanov-Wachstum lässt sich besonders einfach in den Herstellungsprozess der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung integrieren, wenn die Halbleiterbereiche in Form von Halbleiterschichten eines Schichtstapels hergestellt werden.
- 25 In der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung können der erste Halbleiterbereich, der zweite Halbleiterbereich und der aktive Halbleiterbereich jeweils $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ (Aluminium-Gallium-Phosphid) mit $0 \leq x \leq 1$ umfassen. Die Quantenstrukturen können aus einem III-V-Halbleitermaterial, also einem Halbleitermaterial, das Atome der dritten und der fünften Hauptgruppe des
- 30 Periodensystems umfasst, hergestellt sein, welches eine Gitterkonstante besitzt, die größer ist, als die von GaP. Die Gitterkonstante kann als ein Maß dafür angesehen werden, wie weit die Atome in einem kristallinen Material, in dem die Atome im Wesentlichen an Knotenpunkten eines gedachten Gitters angeordnet sind, voneinander entfernt sind.

- Die III-V-Halbleitermaterialen stellen direkte Bandlücken zur Verfügung, die bei geeignet gewählten Abmessungen der Quantenstrukturen Licht im sichtbaren Spektralbereich emittieren können. Als III-V-Halbleitermaterial
- 5 eignet sich insbesondere Indium-Phosphid (InP), dessen Gitterkonstante ca. 7,7 % größer ist, als die des $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$, die im Wesentlichen der Gitterkonstanten von GaP entspricht. Die gegenüber dem GaP (und damit auch gegenüber dem $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$) größere Gitterkonstante vereinfacht dabei die Bildung der Quantenstrukturen beim Herstellen der Halbleitervorrichtung.
- 10 Da das $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ im sichtbaren Spektralbereich transparent ist, kann das vom aktiven Halbleiterbereich emittierte Licht die Halbleiterbereiche der Halbleitervorrichtung weitgehend ungestört durchdringen. Außerdem ermöglicht das Verwenden von $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$, die Herstellung der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung mit Einrichtungen zur Herstellung von auf
- 15 GaP basierenden LEDs zu realisieren.

Die erfindungsgemäße Halbleitervorrichtung kann insbesondere als Leuchtdiode ausgestaltet sein.

- 20 Die der Halbleitervorrichtung zugeordnete Schalteinrichtung kann insbesondere zum Ausgeben von Strompulsen mit einer Pulsfrequenz, die das menschliche Auge nicht auflösen kann, ausgestaltet sein und eine Einstelleinrichtung zum Einstellen der Pulsfrequenz umfassen, wobei der Einstellbereich vorzugsweise derart gewählt ist, dass alle im Bereich
- 25 liegenden Pulsfrequenzen vom menschlichen Auge nicht aufgelöst werden können. Mit dieser Ausgestaltung kann die von einem Betrachter wahrgenommene Intensität des von der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung ausgesendeten Lichtes bei konstanter Pulsdauer durch die Frequenz der Strompulse eingestellt werden. Je niedriger die gewählte
- 30 Frequenz ist, desto seltener leuchtet die Halbleitervorrichtung innerhalb einer bestimmten Zeitspanne auf und desto niedriger ist dann die wahrgenommene Leuchtintensität der Halbleitervorrichtung. Die Einstellbarkeit der von einem Betrachter wahrgenommenen Intensität ist insbesondere bspw. von Bedeutung, wenn die Halbleitervorrichtung in den

beiden Emissionswellenlängen mit unterschiedlichen Intensitäten emittiert oder das menschliche Auge für eine der Wellenlängen unempfindlicher ist, als für die andere Wellenlänge. Mit der Einstellbarkeit der wahrgenommenen Intensität können derartige Unterschiede ausgeglichen werden.

5

- Die Schalteinrichtung kann zusätzlich oder alternativ zur Einstelleinrichtung zum Einstellen der Pulsfrequenz eine Einstelleinrichtung zum Einstellen der Pulsdauer umfassen. Mit dieser Ausgestaltung kann die von einem Betrachter wahrgenommene Intensität des von der erfindungsgemäßen
- 10 Halbleitervorrichtung ausgesendeten Lichtes bei konstanter Pulsfrequenz durch die Dauer der Pulse eingestellt werden. Wenn beide Einstellmöglichkeiten vorhanden sind, kann der einstellbare Bereich im Vergleich zu nur einer Einstellmöglichkeit vergrößert werden. Wenn etwa die niedrigste Pulsfrequenz erreicht ist, kann die Intensität durch Verringern der
- 15 Pulsdauer weiter gesenkt werden.

Vorzugsweise ist die Schalteinrichtung derart ausgestaltet, dass sich die bei einem Strompuls ausgegebene Stromstärke zwischen zwei Strompulsen von einer Stromstärke unterhalb der Schwellenstromstärke zu einer Stromstärke

20 oberhalb der Schwellenstromstärke und umgekehrt ändert lässt. Dabei kann eine Änderung entweder nach jedem Strompuls möglich sein, oder nach einer bestimmten Anzahl von Strompulsen. Diese Ausgestaltung ermöglicht es, das mit den unterschiedlichen Wellenlängen emittierte Licht, d.h. Licht mit verschiedenen Farben, im derart raschen Wechsel zu emittieren, dass ein

25 Betrachter die verschiedenfarbigen Lichtpulse nicht auflösen kann. Als Folge davon scheint die Halbleitervorrichtung für den Betrachter Licht mit einer Farbe zu emittieren, welche einer additiven Farbmischung der beiden Farben des im Wechsel emittierten Lichtes, die im Folgenden als Grundfarben bezeichnet werden, darstellt. Der Anteil der Grundfarben in der Farb-

30 mischung kann durch die Länge der Strompulse der einen Grundfarbe im Verhältnis zur Länge der Strompulse der anderen Grundfarbe und/oder die Anzahl der aufeinander folgenden Strompulse für die eine Grundfarbe im Verhältnis zur Anzahl der aufeinander folgenden Strompulse für die andere Grundfarbe eingestellt werden. So erhält man bspw. bei roten und grünen

Grundfarben in Folge der additiven Farbmischung die Farbe Gelb als Mischfarbe, wobei der resultierende Gelbton vom Mischungsverhältnis des grünen und roten Lichtes abhängt.

5 Da die Wellenlänge des von der Halbleitervorrichtung emittierten Lichtes nur vom Über- oder Unterschreiten der Schwellenstromstärke, sonst aber nicht weiter von Wert der Stromstärke abhängt, eignet sich die Halbleitervorrichtung in besonderer Weise zum digitalen Ansteuern der Vorrichtung.

10

Im erfindungsgemäßen Verfahren zum Einstellen der von einem Betrachter wahrgenommenen Farbe des von einer erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung abgegebenen Lichtes wird das Licht mindestens zweier verschiedener Wellenlängen im Wechsel pulsförmig emittiert, wobei der
15 Wechsel der Wellenlänge des emittierten Lichtes in einer derart raschen Folge erfolgt, dass das menschliche Auge die Folge nicht auflösen kann. Das Einstellen des Mischungsverhältnisses der emittierten Wellenlängen kann in einer Weiterbildung des Verfahrens entweder erfolgen, indem die Anzahl der aufeinander folgenden Pulse der einen Wellenlänge im Verhältnis zur Anzahl
20 der aufeinander folgenden Pulse der anderen Wellenlänge eingestellt wird, oder indem die Dauer der Pulse der einen Wellenlänge im Verhältnis zur Dauer der Pulse der anderen Wellenlänge eingestellt wird.

Eine erfindungsgemäße Anzeigevorrichtung umfasst eine feldartige
25 Anordnung von erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtungen, insbesondere von erfindungsgemäßen Leuchtdioden. Dabei kann die Schalteinrichtung zum Ausgeben eines eigenen Schaltsignals für jede Halbleitervorrichtung des Feldes ausgestaltet sein, so dass eine Schaltvorrichtung für alle Halbleitervorrichtungen der feldartigen Anordnung ausreicht, oder es kann
30 jeder Halbleitervorrichtung eine eigene Schalteinrichtung zugeordnet sein. Mit der erfindungsgemäßen Anzeigevorrichtung lassen sich bspw. Displays realisieren, bei denen insbesondere bei Verwendung von Leuchtdioden die Anzahl der Leuchtelemente pro Pixel verringert werden kann.

Weitere Merkmale, Eigenschaften und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen.

5 Fig. 1 zeigt schematisch einen die erfindungsgemäße Halbleiterstruktur realisierenden Schichtstapel.

Fig. 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem aktiven Halbleiterbereich der in Fig. 1 dargestellten Halbleiterstruktur im Detail.

10 Fig. 3 zeigt Emissionsspektren der Halbleitervorrichtung bei verschiedenen Stromstärken.

15 Fig. 4 zeigt ein erstes Pulsdigramm zum Erläutern der Steuerung der Lichtemission.

Fig. 5 zeigt ein zweites Pulsdigramm zum Erläutern der Steuerung der Lichtemission.

20 Fig. 6 zeigt ein drittes Pulsdigramm zum Erläutern der Steuerung der Lichtemission.

Fig. 7 zeigt ein vieres Pulsdigramm zum Erläutern der Steuerung der Lichtemission.

25 Fig. 1 stellt als ein Ausführungsbeispiel für die erfindungsgemäße Halbleitervorrichtung den Schichtstapel einer Leuchtdiode dar, welcher auf ein n-dotiertes Substrat 1 aufgebracht ist. Der Schichtstapel umfasst eine n-dotierte erste Halbleiterschicht 3, die einen ersten Halbleiterbereich bildet, 30 und eine p-dotierte zweite Halbleiterschicht 5, die einen zweiten Halbleiterbereich bildet. Die Elektronen der n-dotierten ersten Halbleiterschicht 3 stellen dabei im vorliegenden Ausführungsbeispiel die Ladungsträger des ersten Leitfähigkeitstyps dar, wohingegen die Löcher der p-dotierten zweiten Halbleiterschicht 5 die Ladungsträger des zweiten

Leitfähigkeitstyps darstellen. Zwischen der n-dotierten ersten Halbleiterschicht 3 und der p-dotierten zweiten Halbleiterschicht 5 sind drei undotierte Quantenstrukturschichten 7A – 7C angeordnet, die den aktiven Halbleiterbereich der LED bilden. Zwar sind die Quantenstrukturschichten 7A – 7C im vorliegenden Ausführungsbeispiel undotiert, jedoch können sie in alternativen Ausgestaltungen des Ausführungsbeispiels auch eine n-Dotierung oder eine p-Dotierung aufweisen. Schließlich befindet sich über der zweiten Halbleiterschicht 5 eine stark p-dotierte Kontaktsschicht 9 zum elektrischen Kontaktieren der zweiten Halbleiterschicht 5.

10

Das Substrat 1, die erste Halbleiterschicht 3, die zweite Halbleiterschicht 5 sowie die Kontaktsschicht 9 sind als dotierte GaP-Schichten ausgebildet. Als Dotierstoff enthalten das Substrat 1 und die erste Halbleiterschicht 3 jeweils Silizium (Si), wobei die Si-Konzentration in der ersten Halbleiterschicht 3 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ entspricht. Die zweite Halbleiterschicht 5 und die Kontaktsschicht 9 enthalten hingegen Beryllium (Be) als Dotierstoff, und zwar in einer Konzentration von $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ (zweite Halbleiterschicht 5) bzw. $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ (Kontaktsschicht 9). Es sei angemerkt, dass die Dotierungen des Substrates 1, der ersten und zweiten Halbleiterschicht 3, 5 sowie der Kontaktsschicht 9 auch umgekehrt sein können. Die erfindungsgemäße Halbleiterstruktur würde dann ein p-dotiertes Substrat, eine p-dotierte erste Halbleiterschicht 3, eine n-dotierte zweite Halbleiterschicht 5 sowie eine n-dotierte Kontaktsschicht 9 aufweisen.

25 Die Schichtdicken sind in Fig.1 nicht maßstäblich dargestellt. Während die Halbleiterschicht 3 eine Dicke von ca. 200 nm und die Halbleiterschicht 5 eine Dicke von ca. 700 nm aufweisen, weisen die drei Quantenstrukturschichten 7A – 7C zusammen nur eine Dicke von etwa 18 bis 20 nm und die Kontaktsschicht 9 eine Schichtdicke von ca. 10 nm auf.

30

Eine der Quantenstrukturschichten 7A – 7C ist in Fig. 2 im Detail dargestellt. Die Quantenstrukturschicht 7 umfasst eine GaP-Schicht 11 mit einer Dicke von ca. 3 nm, auf die eine InP-Benetzungsenschicht 15 (sog. Wetting Layer bei Stranski-Krastanov-Wachstum) aufgebracht ist, welche die gesamte

Oberfläche der GaP-Schicht 11 bedeckt und eine Dicke zwischen 0,1 und 0,3 nm aufweist. Die InP-Benetzungsenschicht 15 stellt eine Quantentopfschicht dar, sie ist die erste Konfiguration der in der Quantenstrukturschicht 7 angeordneten Quantenstrukturen. Auf der InP-Benetzungsenschicht 15 sind 5 InP-Inseln 13 als Quantenpunkte angeordnet, welche die zweite Konfiguration der Quantenstrukturen darstellen. Die InP-Inseln 13 sind in eine weitere GaP-Schicht 14 eingebettet, die auch als GaP-Matrix bezeichnet wird. Die Dicke der GaP-Matrix 14 ist derart gewählt, dass die InP-Inseln 13 noch mit GaP bedeckt sind, jedoch maximal mit ca. 1 nm GaP. Insgesamt 10 beträgt die Dicke der GaP-Matrix ca. 3 nm, so dass die Gesamtdicke der Quantenstrukturschicht 7 ca. 6 bis 6,3 nm beträgt.

Die lateralen Abmessungen der InP-Inseln 13 betragen im Durchschnitt maximal ca. 50 nm. Vorzugsweise liegt der Durchschnitt der lateralen 15 Abmessungen im Bereich zwischen 10 und 30 nm, und die Bedeckung der GaP-Schicht 11 durch das InP (InP der InP-Benetzungsenschicht 15 und der InP-Inseln 13) beträgt ca. 3,5 ML, d.h. das InP würde ausreichen, die darunter befindliche Schicht mit etwa 3,5 einatomigen InP-Lagen zu überziehen. Auf die Benetzungsenschicht entfallen dabei ca. 1 ML des InP.

20 Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind drei Quantenstrukturschichten 7A – 7C zwischen der ersten und der zweiten Halbleiterschicht 3, 5 angeordnet. Es genügt jedoch, wenn eine derartige Quantenstrukturschicht 7 vorhanden ist. Andererseits können aber auch mehr als nur drei Quantenstruktur- 25 schichten vorhanden sein. Vorzugsweise sind drei bis fünf Quantenstrukturschichten vorhanden.

Zusammen mit den Quantenstrukturschichten 7A – 7C bilden die erste und 30 die zweite Halbleiterschicht 3, 5 eine Leuchtdiode. In dieser treten bei einer zwischen der Kontaktsschicht 9 und dem Substrat 1 geeignet angelegten und im Allgemeinen als Durchlassspannung bezeichneten Spannung Elektronen aus der ersten Halbleiterschicht 3 und Löcher aus der zweiten Halbleiter- schicht 5 in die Quantenstrukturschichten 7A – 7C ein. In den Quantenstrukturschichten 7A – 7C findet eine Rekombination von Elektronen und

- Löchern statt, d.h. Elektronen füllen die Löcher auf. Diese Rekombination stellt für die Elektronen ein Übergang von einem energetisch höher gelegenen Energieband in ein energetisch tiefer liegendes Energieband dar. Der Übergang ist dabei ein direkter Übergang, der im Wesentlichen in den 5 Quantenstrukturen, d.h. im InP, stattfindet. Aufgrund der geringen Abmessungen der InP-Quantenstrukturen ist die Bandlücke im InP viel größer als in einem großvolumigen InP-Material, so dass die Wellenlänge des beim direkten Übergang emittierten Lichtes im sichtbaren Spektralbereich liegt.
- 10 Zwar sind im beschriebenen Ausführungsbeispiel das Substrat 1, die erste Halbleiterschicht 3, die zweite Halbleiterschicht 5 sowie die Kontaktsschicht 9 als GaP-Schichten beschrieben, jedoch können diese Schichten allgemein als $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ -Schichten mit $0 \leq x \leq 1$ ausgebildet sein, wobei die Werte für x 15 von Schicht zu Schicht unterschiedlich sein können. Entsprechend brauchen die Quantenstrukturen nicht aus InP hergestellt zu sein. Stattdessen können sie als $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ -Schichten mit $0 \leq y \leq 0,5$, vorzugsweise mit $0 \leq y \leq 0,1$, ausgebildet sein. Da $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ im sichtbaren Spektralbereich transparent ist, kann die beschriebene Schichtstruktur insbesondere auch dazu verwendet 20 werden, vertikal, d.h. in Stapelrichtung, emittierende LEDs zu herzustellen.

Die Wellenlänge des emittierten Lichtes lässt sich in der beschriebenen Halbleiterstruktur von der Stromstärke des durch die Quantenstrukturschichten 7A - 7C fließenden Stromes beeinflussen. Bei einer Durchlassspannung von 3V und einer Stromstärke von weniger als ca. 100 mA 25 emittiert die Halbleitervorrichtung rotes Licht mit einer Wellenlänge von ca. 725 nm, wohingegen sie bei einer Stromstärke von mehr als ca. 100 mA grünes Licht mit einer Wellenlänge von ca. 550 nm emittiert (Fig. 3). Experimentell ermittelte Emissionsspektren der beschriebenen Halbleiterstruktur sind für eine Stromstärke von 15 mA und für eine Stromstärke von 30 120 mA in Fig. 3 dargestellt. In der Figur ist zu erkennen, dass das Emissionsspektrum der Halbleitervorrichtung bei 15 mA und 3 V Durchlassspannung ein Maximum bei ca. 725 nm aufweist, wohingegen es bei 120 mA und 3 V Durchlassspannung ein Maximum bei ca. 550 nm aufweist.

In beiden Fällen ist die Intensität des emittierten Lichtes aufgrund des direkten Übergangs sehr hoch. Ein ähnliches Verhalten zeigt die Halbleitervorrichtung auch bei 300 K.

- 5 Zum Umschalten der Stromstärke des durch den aktiven Bereich 7A – 7C der Halbleiterstruktur fließenden Stromes ist der Halbleitervorrichtung eine Schalteinheit 20 zugeordnet, die im vorliegenden Ausführungsbeispiel als digitale Schaltung ausgeführt ist und die dem aktiven Bereich 7A – 7C je nach Bedarf einen Strom mit einer Stromstärke über ca. 100 mA zu oder mit
10 einer Stromstärke unter ca. 100 mA zuführt. Die Schalteinheit 20 kann über einen Steuereingang 22 digital angesteuert werden, um je nach Bedarf ein Umschalten zwischen den beiden Stromstärken vorzunehmen.

Mit einer geeigneten Steuerung des Umschaltens der Stromstärke lässt sich
15 die von einem Betrachter wahrgenommene Intensität des von der Halbleiterstruktur emittierten Lichtes beeinflussen. Auf diese Weise können bspw. Intensitätsunterschiede der beiden von der Halbleiterstruktur emittierten Wellenlängen ausgeglichen werden. Der Ausgleich kann bspw. erfolgen, indem die Emission bei der Wellenlänge, bei der die Intensität
20 niedriger ist, kontinuierlich erfolgt. Wenn dann auf die Emission mit der Wellenlänge, bei der die Intensität höher ist, umgeschaltet wird, wird auf eine pulsförmige Emission umgestellt. Wenn die niedrige Intensität etwa der Hälfte der hohen Intensität entspricht, so werden die Pulse derart gewählt,
25 dass sich einer Periode des Stromflusses eine gleichlange Periode ohne Stromfluss anschließt. Eine derartige Pulsfolge ist in Fig. 4 dargestellt. In Fig. 4 stellt der hohe Pegel H1 diejenige Stromstärke, die zur Emission mit der einen Wellenlänge führt, dar, der hohe Pegel H2 diejenige Stromstärke, die zur Emission mit der anderen Wellenlänge führt, und der niedrige Pegel L die Stromstärke mit dem Wert Null. Der Übergang von der Emission mit der
30 einen Wellenlänge zur Emission mit der anderen Wellenlänge findet am Punkt A statt.

Selbstverständlich kann auch die Emission bei beiden Wellenlängen gepulst erfolgen, wobei die Pulse derart zueinander im Verhältnis stehen, dass die

- Dauer der Stromflusses pro Zeiteinheit bei der Emissionen mit niedriger Intensität entsprechend länger ist, als die Dauer der Stromflusses pro Zeiteinheit bei der Emissionen mit hoher Intensität. Die Dauer des Stromflusses pro Zeiteinheit kann dabei entweder durch die Länge der Strompulse (Fig. 5) oder die Häufigkeit, mit der die Strompulse pro Zeiteinheit erfolgen, also der Pulsfrequenz (Fig. 6), eingestellt werden. Es ist auch möglich, die Dauer der Strompulse durch eine Kombination aus Pulsfrequenz und Pulslänge zu beeinflussen.
- 5 10 In ähnlicher Weise lässt sich auch erreichen, dass ein Betrachter ein Licht wahrnimmt, dessen Farbe einer Mischung des farbigen Lichtes mit der einen Wellenlänge und des farbigen Lichtes mit der anderen Wellenlänge entspricht. Dies soll im Folgenden mit Bezug auf Fig. 7 anhand des Mischens von rotem und grünem Licht erläutert werden. Dabei wird zur Vereinfachung 15 fiktiv angenommen, dass die Emission des roten und die Emission des grünen Lichtes mit derselben Intensität stattfinden und dass ein Betrachter die Intensitäten auch als gleich wahrnimmt. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass dem Betrachter das rote Licht in der Realität intensiver erscheint als das grüne, da das menschliche Auge für rotes Licht 20 empfindlicher ist, als für grünes Licht.

Zum mischen der Farben erfolgt ein gepulstes Emittieren von Licht, wobei sich die Emission von rotem Licht (Pegel H1) mit der Emission von grünem Licht (Pegel H2) abwechselt. Der Wechsel erfolgt dabei mit einer Frequenz, 25 die so hoch ist, dass das menschliche Auge den Wechsel nicht wahrnehmen kann. Wenn der Pegel H1 und der Pegel H2 unter der oben gemachten Annahme jeweils dieselbe Dauer aufweisen, so nimmt ein Betrachter Licht wahr, dessen Farbe einer additiven Mischung von rotem und grünem Licht im Verhältnis eins zu eins entspricht. Derartiges Licht weist eine gelbe Farbe 30 auf. Das Verhältnis der Mischung kann dabei durch das Verhältnis der Pulsdauer des Pegels H1 zur Pulsdauer des Pegels H2 beeinflusst werden. In der Realität wird das gelbe Licht jedoch nicht durch ein Mischungsverhältnis eins zu eins erzeugt werden, sondern mit einem Mischungsverhältnis, in dem das grüne Licht einen stärkeren Anteil hat, um

die Unterschiede in der Empfindlichkeit des menschlichen Auges auszugleichen. Dies kann bspw. dadurch erreicht werden, dass die Pulsdauer für die Emission des grünen Lichtes länger gewählt wird, als die Pulsdauer für die Emission des roten Lichtes.

5

Alternativ kann das Mischungsverhältnis auch beeinflusst werden, indem jeweils Pulse derselben Dauer Verwendung finden, wobei bspw. die Pulse H1 die zur Emission mit der einen Wellenlänge führen häufiger auftreten als die Pulse H2, die zur Emission mit der anderen Wellenlänge führen.

- 10 Zwischen den einzelnen Pulsen ist dann jeweils eine kurze Phase ohne Stromfluss durch die Halbleiterstruktur vorhanden.

Wenn die erfindungsgemäße Halbleitervorrichtung in einem Array (Feld) angeordnet wird und die einzelnen Halbleitervorrichtungen des Feldes 15 individuell anzusteuern sind, so kann mit Hilfe der Halbleitervorrichtung eine Farbdisplay aufgebaut werden, in dem die Zahl der Licht emittierenden Elemente gegenüber dem Stand der Technik verringert werden kann, da bspw. rotes und grünes Licht mit derselben Halbleitervorrichtung zu erzeugen sind.

20

- Mit Hilfe geeigneter Maßnahmen zum Einschließen des emittierten Lichtes im aktiven Bereich der Halbleitervorrichtung, bspw. durch geeignete Wahl der Brechungsindices der einzelnen Schichten, bzw. durch das Vorsehen von Facetten an der Halbleiterstruktur können mit der erfindungsgemäßen 25 Halbleitervorrichtung inkohärentes Licht aussendende superlumineszente Dioden oder kohärentes Licht aussendende Laserdioden hergestellt werden. Die grundsätzliche Struktur von superlumineszenten Dioden und Laserdioden ist bspw. den Büchern „Spontaneous Emission and Laser Oscillation in Microcavities“, Edit. by Hiroyuki Yokoyama, and Kikuo Ujihara, CRC Press 30 (1995)“ und "Optoelectronics: An Introduction to Material and Devices", Jasprit Singh, The McGraw-Hill Companies, Inc., (1996)“ zu entnehmen, auf die bezüglich der weiteren Ausgestaltung der erfindungsgemäßen superlumineszenten Diode und der erfindungsgemäßen Laserdiode verwiesen wird.

Patentansprüche

1. Halbleitervorrichtung zum Emittieren von Licht bei Anlegen einer Spannung mit
 - 5 - einem ersten Halbleiterbereich (3), dessen Leitfähigkeit auf Ladungsträgern eines ersten Leitfähigkeitstyps beruht,
 - einem zweiten Halbleiterbereich (5), dessen Leitfähigkeit auf Ladungsträgern eines zweiten Leitfähigkeitstyps, welche eine den Ladungsträgern des ersten Leitfähigkeitstyps entgegengesetzte Ladung besitzen, beruht,
 - 10 - einem zwischen dem ersten Halbleiterbereich (3) und dem zweiten Halbleiterbereich (5) angeordneten aktiven Halbleiterbereich (7A – 7C), in den Quantenstrukturen (13, 15) eines Halbleitermaterials mit direkter Bandlücke in mindestens zwei unterschiedlichen miteinander gekoppelten Konfigurationen eingebettet sind, und
 - 15 - einer zugeordneten Schalteinrichtung (20) zum Beeinflussen des durch den aktiven Halbleiterbereich (7A – 7C) fließenden Stromes, die derart ausgestaltet ist, dass zumindest zwischen einem Stromfluss durch den aktiven Halbleiterbereich (7A – 7C) mit einer Stromstärke (H1) unterhalb einer bestimmten Schwellenstromstärke und einem Stromfluss durch den aktiven Halbleiterbereich mit einer Stromstärke (H2) oberhalb der Schwellenstromstärke hin und her zu schalten ist.
- 25 2. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, bei der Quantenpunkte (13) als eine Konfiguration der Quantenstrukturen und eine Quantentopfschicht (15) als eine zweite Konfiguration der Quantenstrukturen vorhanden sind.
- 30 3. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 2, bei der die Quantenpunkte (13) eine laterale Ausdehnung besitzen, die im Durchschnitt weniger als ca. 50 nm beträgt.

4. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 3, bei der die durchschnittliche laterale Ausdehnung der Quantenstrukturen (13) im Bereich zwischen 10 und 30 nm liegt.
- 5 5. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der die Halbleiterbereiche (3, 5, 7A – 7C) in Form von Halbleiterschichten eines Schichtstapels realisiert sind.
- 10 6. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei welcher der erste Hableiterbereich (3), der zweite Halbleiterbereich (5) und der aktive Halbleiterbereich (7A – 7C) jeweils $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ mit $0 \leq x \leq 1$ umfassen und die Quantenstrukturen (13, 15) aus einem III-V-Halbleitermaterial hergestellt sind, das eine Gitterkonstante besitzt, die größer ist, als die von GaP.
- 15 7. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 6, bei der das III-V-Halbleitermaterial InP umfasst.
- 20 8. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei der die Schalteinrichtung (20) zum Ausgeben von Strompulsen mit einer Pulsfrequenz, die das menschliche Auge nicht auflösen kann, ausgestaltet ist und eine Einstelleinrichtung zum Einstellen der Pulsfrequenz umfasst.
- 25 9. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei der die Schalteinrichtung (20) eine Einstelleinrichtung zum Einstellen der Pulsdauer umfasst.
- 30 10. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalteinrichtung (20) derart ausgestaltet ist, dass sich die bei einem Strompuls ausgegebene Stromstärke zwischen zwei Strompulsen von einer Stromstärke (H1) unterhalb der Schwellenstromstärke zu einer Stromstärke (H2) oberhalb der Schwellenstromstärke und umgekehrt ändern lässt.

11. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, gekennzeichnet durch ihre Ausgestaltung als Leuchtdiode.
- 5 12. Anzeigevorrichtung mit einer feldartigen Anordnung von Halbleiter-
vorrichtungen nach einem der Ansprüche 1 bis 11.
- 10 13. Anzeigevorrichtung nach Anspruch 12, bei der die Schalteinrichtung zum Ausgeben eines eigenen Schaltsignals für jede Halbleiter-
vorrichtung ausgestaltet ist.
14. Anzeigevorrichtung nach Anspruch 12, bei der jeder Halbleiter-
vorrichtung eine eigene Schalteinrichtung zugeordnet ist.
- 15 15. Verfahren zum Einstellen der Farbe des von einer Halbleiter-
vorrichtung nach Anspruch 10 abgegebenen Lichtes, bei dem Licht mindestens zweier verschiedener Wellenlängen im Wechsel pulsförmig emittiert wird und ein Wechsel der Wellenlänge des emittierten Lichtes in einer derart raschen Folge erfolgt, dass das
20 menschliche Auge die Folge nicht auflösen kann.
16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem ein Mischungsverhältnis der emittierten Wellenlängen eingestellt wird, indem die Anzahl der aufeinander folgenden Pulse der einen Wellenlänge im Verhältnis zur Anzahl der aufeinander folgenden Pulse der anderen Wellenlänge eingestellt wird.
25
17. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem ein Mischungsverhältnis der emittierten Wellenlängen eingestellt wird, indem die Dauer der Pulse der einen Wellenlänge im Verhältnis zur Dauer der Pulse der anderen Wellenlänge eingestellt wird.
30

1/5

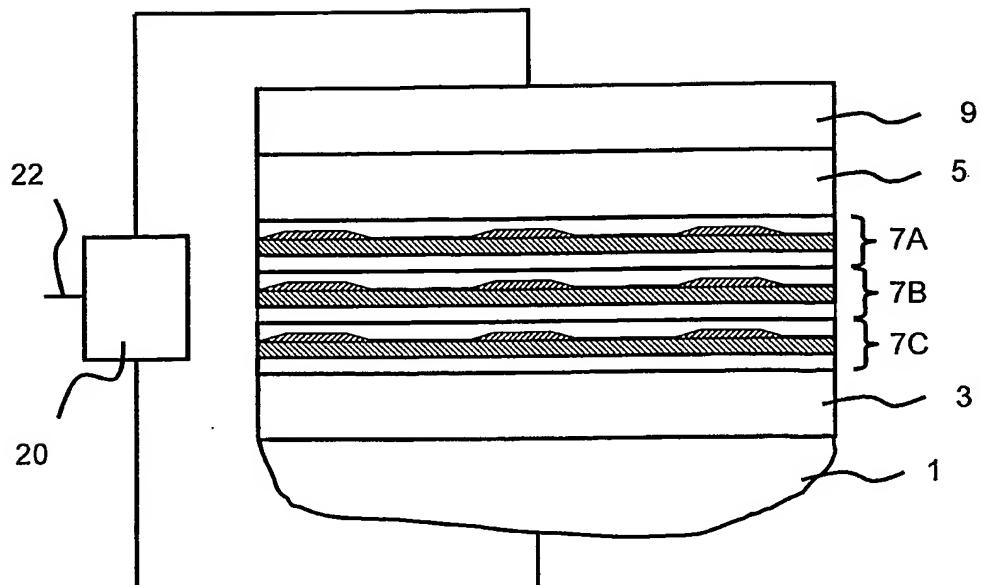


Fig. 1

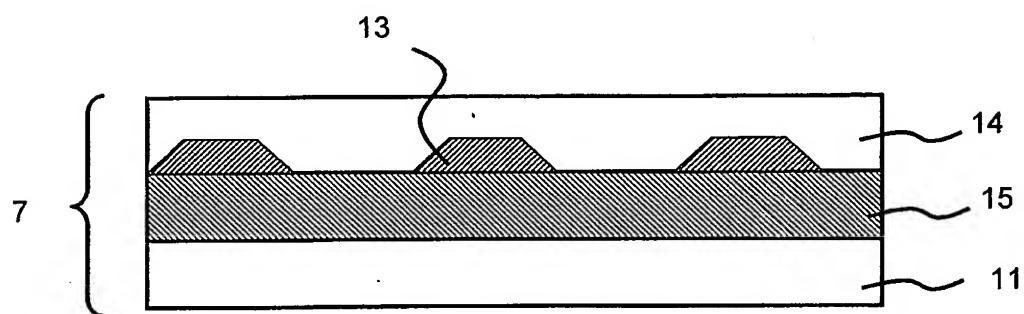


Fig. 2

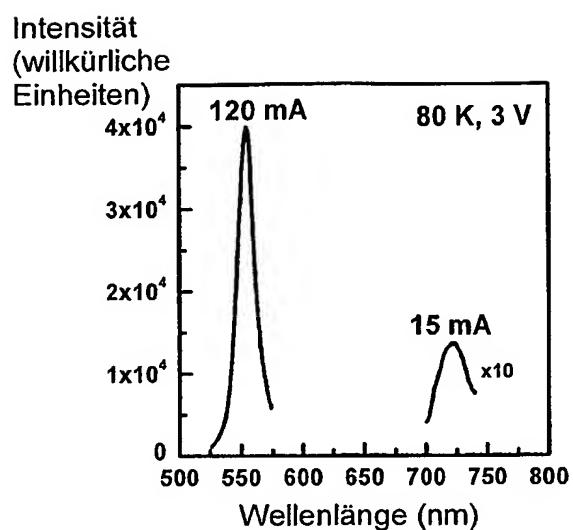


Fig. 3

3/5



Fig. 4

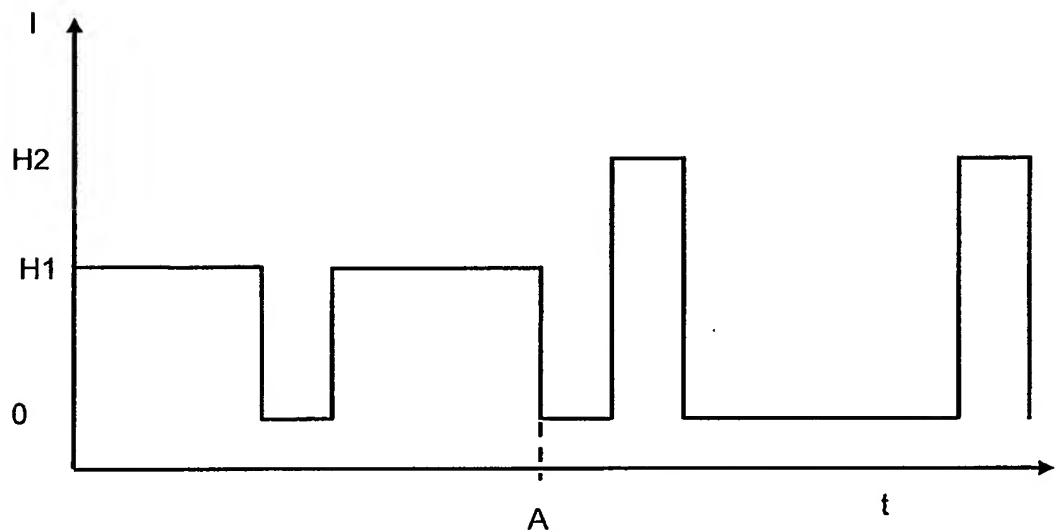


Fig. 5

4/5

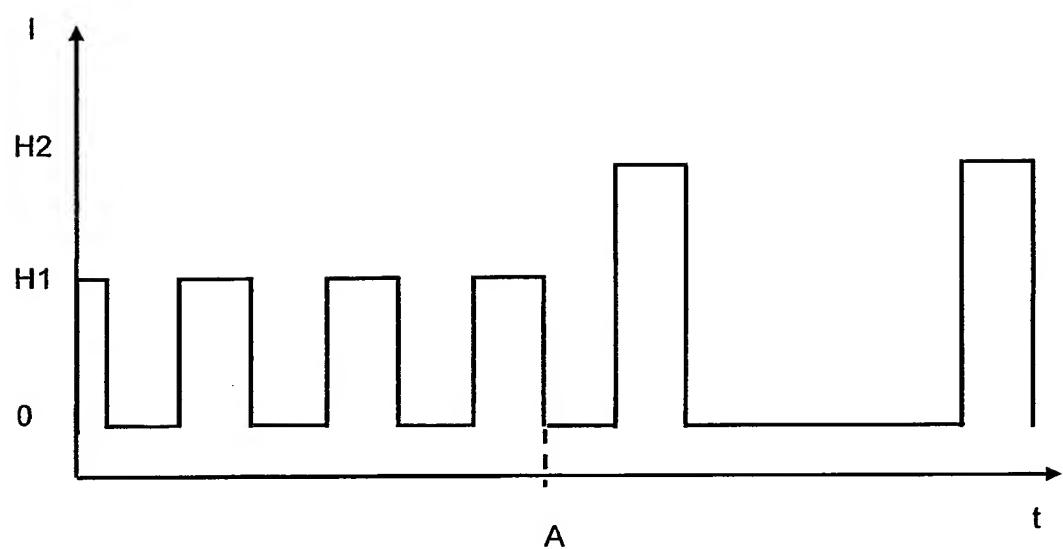


Fig. 6

5/5

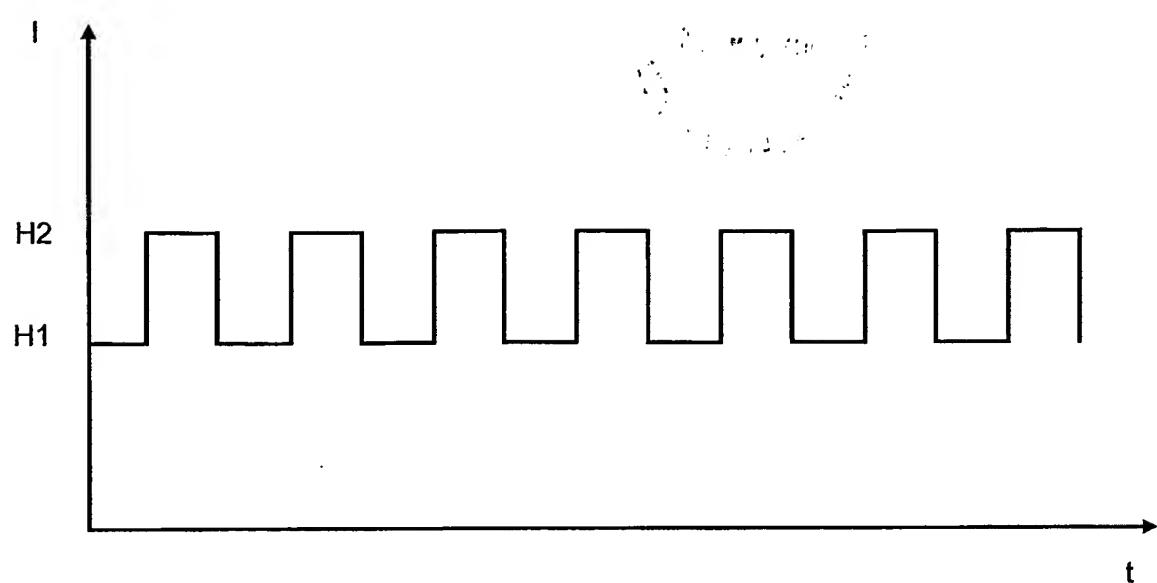


Fig. 7